

Proposal Tugas Akhir

Pengembangan Sistem Estimasi Deforestasi Lahan Gambut Akibat Kebakaran Menggunakan *Framework Shiny*

NOER WIDYA HERLAMBAANG (G64150105)*, IMAS SUKAESIH SITANGGANG

ABSTRAK

Kebakaran merupakan salah satu faktor penyebab deforestasi lahan gambut. Pembakaran lahan gambut dapat menjadi awal kegiatan pembukaan lahan baru untuk alih fungsi lahan atau dikenal dengan *Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF). Pendekatan teknik *spatio-temporal data mining* dapat digunakan untuk melakukan estimasi luas lahan gambut yang mengalami deforestasi dan keterkaitannya dengan kebakaran lahan yang terjadi. Penelitian sebelumnya telah melakukan perbandingan hasil klasifikasi dua citra Landsat 8 guna mengestimasi perubahan tutupan lahan gambut yang terjadi serta analisis keterkaitan kebakaran lahan dengan perubahan tutupan lahan yang terjadi. Penelitian ini berfokus untuk mengembangkan sistem yang mengotomasi proses estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran menggunakan *framework Shiny* pada pemrograman berbahasa R. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra Landsat 8 Provinsi Riau dari tahun 2014 hingga 2016. Sistem ini akan dikembangkan menggunakan metode *Adaptive Software Development* (ASD). Dengan adanya sistem otomatisasi estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran, diharapkan proses estimasi tingkat deforestasi pada lahan gambut dan keterkaitannya dengan kebakaran hutan dapat dilakukan dengan mudah.

Kata Kunci: *adaptive software development, LULUCF, R, Shiny, spatio-temporal data mining.*

ABSTRACT

Wildfire is one of the causes of peatlands deforestation. Wildfire could be occurred at the beginning of land clearing activities for land conversion or as know as Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF). Spatio-temporal data mining technique approach can be used for estimation of the area of peatland that experiencing deforestation and its association with the wildfire. Previous research has made a comparison between two classified Landsat 8 images in order to estimate land cover change that takes place. This research's focus is to develop a system to automate peatland deforestation estimation because of wildfire using Shiny framework with R language programming. The data that used for this research are Landsat 8 images of Riau Province from 2014 to 2016. The system will be developed using Adaptive Software Development (ASD) method. With the automation system in estimating deforesntation of peatlands due to fires, the proses of estimating deforestation levels of peatlands and its relation to wildfire can easily be done.

Keywords: adaptive software development, LULUCF, R, Shiny, spatio-temporal data mining.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah gambut (Histosis) adalah tanah yang jenuh air dan tersusun dari bahan organik sisa tanaman yang memiliki ketebalan 50 cm atau lebih (Noor dan Heyde 2007). Lahan gambut memiliki banyak fungsi bagi manusia dan ekosistem disekitarnya. Lahan gambut memiliki fungsi sebagai serapan air hujan, pencegah banjir dan penjamin pasokan air sepanjang tahun. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki lahan gambut yang luas. Menurut data *Indonesian National Carbon Accounting System* (INCAS) pada tahun 2011 Indonesia memiliki luas lahan gambut sebesar 14.8 juta hektar. Lahan gambut yang terdapat di Indoneisa sebagian besar tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan dan Papua. Namun, lahan gambut yang luas tersebut semakin berkurang tiap tahunnya akibat deforestasi lahan gambut. Menurut data pengamatan *Forest Watch Indonesia* (FWI) pada periode 2009 – 2013 Indonesia kehilangan hutan akibat deforestasi seluas 1.13 juta hektar setiap tahunnya. Dengan kata lain, Indonesia kehilangan luas hutan sebesar tiga lapangan sepak bole per menit.

Salah satu penyebab deforestasi lahan gambut adalah kebakaran. Hampir seluruh penyebab terjadinya kebakaran lahan gambut adalah manusia yang secara sengaja maupun tidak membakar vegetasi yang ada di hutan (Wibisono dan Siboro 2005). Salah satu tujuan pembakaran lahan dengan sengaja adalah untuk pembukaan lahan baru. Pembukaan lahan baru dengan cara membakar hutan relatif lebih murah dibandingkan pembukaan lahan dengan cara lain (Pinem 2016). Selain pembakaran hutan oleh penduduk, Kemarau yang berkepanjangan dan curah hujan yang minim menjadi faktor pendukung terjadinya kebakaran hutan. Kondisi tersbut biasa terjadi pada bulan Oktober hingga November.

Kebakaran hutan sangat merugikan manusia dan lingkungan. Kebakaran hutan dapat mengganggu kesehatan dan aktivitas manusia. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), polutan kebakaran hutan mengandung *particulat matter* (PM), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan Ozon (O₂). Polutan tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan, menimbulkan asma, menurunkan fungsi kerja paru-paru, hingga memicu kematian bayi dan janin. Pada tahun 2014, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat kerugian yang dialami Provinsi Riau akibat kebakaran hutan mencapai 15 Triliun rupiah dan sekolah terpaksa tutup selama satu minggu. Selain itu, jumlah lahan yang terbakar di Riau pada tahun 2014 meliputi dua ribu hektar cagar biosfer dan dua ribu hektar lahan terbakar. Selain itu, 58 ribu orang terserang Infeksi Saluran Pernafasan Atas (ISPA).

Penelitian estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran telah dilakukan oleh Sofiana (2018). Penelitian tersebut mengaitkan deforestasi lahan gambut dengan insiden kebakaran hutan yang terjadi. Penelitian tersebut menggunakan data citra Landsat 8 periode 2014 hingga 2016. Proses klasifikasi dilakukan terhadap ketiga buah citra tersebut menggunakan algoritma pohon keputusan C5.0 dengan *spectral band* sebagai variabel penjelas yang digunakan. Kemudian, hasil klasifikasi citra periode 2014 dan 2016 digunakan untuk analisis perubahan tutupan lahan dengan cara melakukan perbandingan berbasis *pixel*. Area yang terdeteksi mengalami perubahan kemudian dievaluasi terhadap kebakaran yang terjadi. Sekuens titik panas yang terjadi di tahun 2015 akan diplot pada hasil klasifikasi citra tahun 2015. Estimasi luas deforstasi dilakukan menggunakan teknik *spatio-temporal data mining*.

Pada praktiknya, estimasi perubahan tutupan lahan gambut akibat kebakaran melibatkan perhitungan yang kompleks dan pengolahan data yang besar. Merujuk ke penelitian Sofiana (2017) proses perhitungan yang dilakukan adalah klasifikasi citra, uji separabilitas, uji akurasi model klasifikasi, deteksi perubahan tutupan lahan hingga analisis

keterhubungan perubahan tutupan lahan dengan kejadian kebakaran. Kompleksitas perhitungan tersebut tentunya sulit dilakukan oleh orang awam. Selain itu, data citra landsat yang diolah memiliki ukuran yang cukup besar. Oleh sebab itu, pembuatan sistem yang mewadahi segala proses perhitungan tersebut diperlukan agar proses estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran dapat dilakukan dengan mudah.

Penelitian ini akan mengimplementasikan penelitian Sofiana (2018) ke dalam sebuah sistem. Sistem yang dibuat menggunakan Bahasa pemrograman R dan dikembangkan menggunakan kerangka kerja Shiny. Sistem ini akan memberi keluaran berupa table dan sebuah citra yang membandingkan dua buah citra muka bumi. Penelitian ini diharapkan dapat memudahkan pihak terkait dalam menganalisa deforestasi lahan gambut akibat kebakaran.

Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menerapkan hasil penelitian Sofiana (2018) ke dalam sebuah sistem menggunakan bahasa pemrograman R dan kerangka kerja Shiny untuk memudahkan proses estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membangun sistem estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran dalam aplikasi web menggunakan *framework* Shiny.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam proses estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran yang berguna dalam penentuan kebijakan oleh *stakeholder* kedepannya

Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini mengimplementasi proses perhitungan estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran berdasarkan penelitian Sofiana (2018).
2. Citra yang digunakan untuk membangun sistem adalah Citra Landsat 8 di Provinsi Riau dan Jambi yang terdiri dari tiga periode waktu. Periode pertama meliputi tahun 1996, 1997, dan 1998. Periode kedua meliputi tahun 2005, 2006, dan 2007. Serta periode ketiga meliputi tahun 2014, 2015 dan 2016. Tahun pertama dan tahun terakhir setiap periode digunakan untuk pengamatan perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan. Sedangkan tahun kedua di tiap periode digunakan untuk proses pengamatan kebakaran lahan dan titik panas.

TINJAUAN PUSTAKA

Kebakaran Lahan gambut

Kebakaran lahan gambut adalah kebakaran permukaan yang diawali dengan api membakar material yang terdapat di permukaan lahan seperti serasah dan semak. Selanjutnya api membakar bahan organik di bawah permukaan gambut dan menyebar secara tidak merata. Pada kebakaran lahan gambut, hanya muncul asap berwarna putih saja yang timbul di permukaan. Hal ini dikarenakan api menjalar secara vertikal dan horizontal membentuk kumpulan asap pembakaran yang tidak menyala (Risma 2018). Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kebakaran hutan. Faktor penyebab kebakaran hutan meliputi pembukaan lahan baru dengan membakar, pembakaran limbah perkebunan yang tidak terkendali, konflik lahan serta kelalaian manusia yang menimbulkan percikan api (Muslim *et al.* 2017)

Deforestasi

Deforestasi adalah perubahan ke bentuk penggunaan lahan lain secara permanen seperti pertanian, peternakan dan perkotaan (Chakravarty *et al.* 2012). Namun menurut FAO, alih fungsi lahan menjadi hutan produksi yang menjadikan kayu sebagai hasil keluarnya bukan termasuk ke dalam deforestasi. Alih fungsi lahan menjadi hutan produksi selain yang menghasilkan kayu tergolong dalam deforestasi. Terdapat dua tipe penyebab deforestasi yaitu, langsung dan tidak langsung. Penyebab deforestasi langsung diantaranya kebakaran hutan, pembalakan hutan, dan urbanisasi. Penyebab deforestasi tidak langsung adalah jumlah penduduk berlebih, kemiskinan serta sistem transmigrasi dan kolonialisasi. Deforestasi berdampak pada perubahan iklim, hilangnya sumberdaya air dan unsur hara tanah, dan hilangnya biodiversitas.

Penelitian terkait deforestasi hutan telah dilakukan oleh Afandi (2014) dan Sofiana (2018). Kedua penelitian itu memanfaatkan data citra satelit Landsat 8 untuk mengestimasi luas hutan yang mengalami deforestasi dengan membandingkan citra muka bumi di periode waktu tertentu. Pada penelitian Afandi (2014) berfokus pada perubahan tutupan lahan hutan menjadi hal lain seperti pemukiman dan perkebunan. Sedangkan pada penelitian Sofiana (2018) deforestasi lahan ditinjau keterkaitannya dengan kebakaran hutan yang terjadi.

Land Use Land Cover (LULC)

Penggunaan lahan dan tutupan lahan adalah dua elemen penting dalam menggambarkan keadaan lingkungan di atas permukaan bumi. Analisis perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan dapat digunakan untuk melihat perubahan penggunaan lahan yang terjadi. Tutupan lahan adalah tutupan biofisik yang dapat diamati pada permukaan bumi. Dalam hal ini, tutupan lahan dapat berupa penampakan alami bumi, seperti badan air dan hutan. Tutupan lahan tidak sebatas hanya vegetasi organik. Struktur yang dikembangkan oleh manusia juga dapat dikategorikan kedalam tutupan lahan. Contohnya adalah jalan raya dan perkebunan. Sedangkan penggunaan lahan adalah cara suatu lahan dikelola dan digunakan oleh manusia (Giri dan Wang 2012). Pola yang terbentuk pada penggunaan lahan merupakan hasil dari interaksi antara manusia dan alam dalam jangka waktu yang panjang. Singkatnya tutupan lahan dapat dikatakan sebagai bukti terlihat dari hasil penggunaan lahan.

Citra Landsat 8

Citra adalah fungsi dua dimensi yang dilambangkan dengan $f(x,y)$ dimana x dan y merepresentasikan koordinat spasial serta f merepresentasikan tingkat intensitas dan level keabuan dari sebuah pasangan x dan y (Gonzales *et al.* 2009). Citra digital adalah citra yang semua f dari pasangan x dan y memiliki nilai yang diskret dan terhingga. Citra digital dibangun dari sejumlah terhingga elemen yang memiliki informasi lokasi dan nilai yang biasa disebut *pixel*.

Landsat 8 merupakan satelit kedelapan yang diluncurkan dalam program *Landsat Data Continuity Mission*. Satelit ini diluncurkan pada tanggal 11 Februari tahun 2011. Landsat 8 memiliki 11 buah *band* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Landsat 8 memiliki dua buah sensor utama yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). OLI dapat menangkap tutupan bumi seluas 185 000 meter persegi dalam resolusi 15 sampai dengan 30 meter menggunakan Sembilan buah *spectral band* pada beberapa panjang gelombang. TIRS berguna dalam pengambilan data badan air untuk pengelolaan konsumsi air.

Tabel 1 Karakteristik sensor Landsat 8 (USGS 2016)

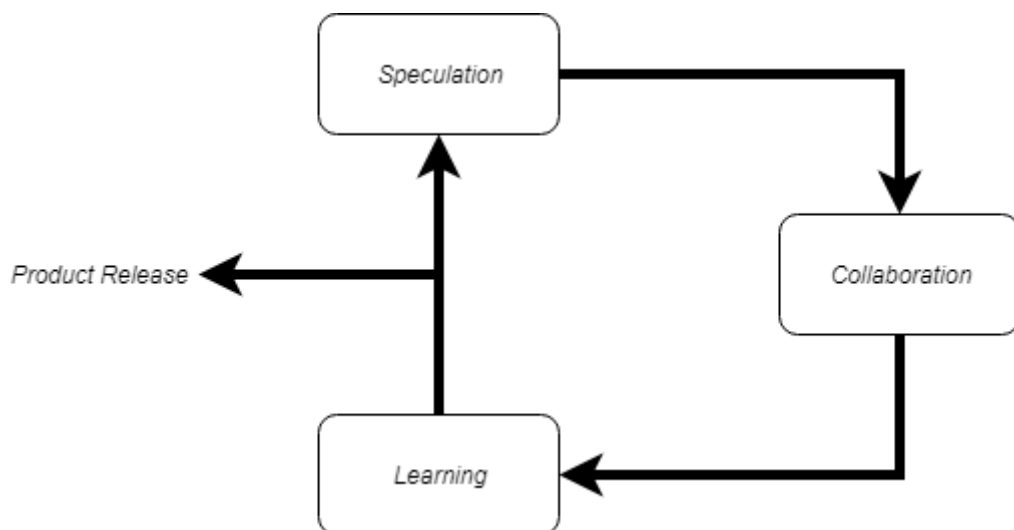
No	Tipe <i>Band</i>	Resolusi (m)	Spektral (μm)
1	Band 1 Coastal	30	0.43 - 0.45
2	Band 2 Blue	30	0.45 - 0.51
3	Band 3 Green	30	0.53 - 0.59
4	Band 4 Red	30	0.63 - 0.67
5	Band 5 NIR	30	0.85 - 0.88
6	Band 6 SWIR 1	30	1.57 - 1.65
7	Band 7 SWIR 2	30	2.11 - 2.29
8	Band 8 Pan	15	0.50 - 0.68
9	Band 9 Cirrus	30	1.36 - 1.38
10	Band 10 TIRS 1	30	10.6 - 11.19
11	Band 11 TIRS 2	30	11.5 - 12.51

Framework Shiny

Kerangka kerja Shiny merupakan salah satu *package* yang tersedia di Bahasa pemrograman R. Kerangka kerja ini memungkinkan pengguna untuk mengembangkan aplikasi *web* yang Interaktif. Selain itu, kerangka kerja ini dapat dipadukan dengan teknologi CSS, *widgets* HTML dan JavaScript. Sehingga tampilan *web* yang dihasilkan semakin interaktif dan indah. Pada framework ini, terdapat dua bagian yang memiliki fungsi yang berbeda. Bagian antarmuka atau *User Interface* (UI) berperan dalam peengaturan tampilan dari web. Sedangkan bagian server berperan dalam perhitungan logika dan aritmatika dalam bentuk fungsi (Chang *et al.* 2015). Penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan aplikasi web menggunakan *framework* Shiny sudah dilakukan oleh Sari (2018) dan Tyas(2018).

Adaptive Software Development (ASD)

Adaptive Software Development (ASD) sebagai teknik pengembangan sistem dan perangkat lunak yang kompleks pertama kali diperkenalkan oleh Jim Highsmith. Pengembangan sistem dengan metode ini berfokus pada kolaborasi antar individu dan organisasi tim (Pressman 2010). Metode ini terbagi menjadi tiga buah tahapan yaitu, *Speculation*, *Collaboration*, dan *learning*. Bagan tahapan metode ASD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan pada metode ASD (Pressman 2010)

1. *Speculation*

Pada tahap ini, perencanaan *adaptive cycle* dibuat. Informasi yang tersedia digunakan untuk perencanaan. Informasi tersebut meliputi tujuan pengguna yang ingin dicapai, batasan-batasan proyek, dan kebutuhan-kebutuhan dasar sistem. Pada penerapannya, rencana yang dibangun akan selalu berubah. Berdasarkan hasil dari iterasi pertama, rencana awal akan ditinjau dan disesuaikan agar rencana tersebut bekerja lebih baik pada iterasi berikutnya.

2. *Collaboration*

Setiap metode *agile* melibatkan proses kolaborasi. Tahap Kolaborasi merupakan fase implementasi dari perencanaan yang telah dilakukan pada tahap *speculation*. Kolaborasi dapat meningkatkan kemampuan tim secara keseluruhan dan kreativitas keluaran yang dihasilkan. Proses kolaborasi melibatkan komunikasi dan kerjasama tim agar tujuan yang direncanakan tercapai. Selain itu, kreativitas setiap individu pada tim dan sikap percaya pada orang lain menentukan keberhasilan kolaborasi yang dilakukan.

3. *Learning*

Tahapan *learning* membantu pengembang dalam memahami teknologi yang dipakai dan proyek yang sedang dikerjakan. Tahap ini berlangsung seiring anggota tim mengembangkan komponen – komponen proyek. Terdapat tiga cara tahapan *learning* diimplementasikan oleh tim yaitu, *focus groups*, *technical review*, dan *project postmortems*.

METODE

Data Penelitian

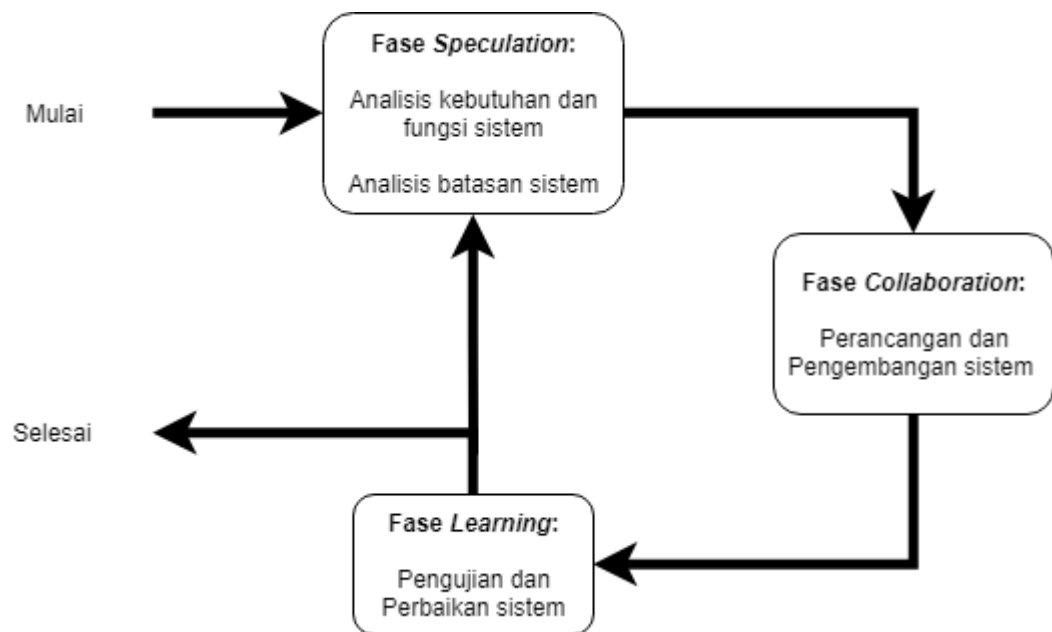
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data citra satelit Landsat 8 yang menggambarkan tutupan lahan di Provinsi Riau. Terdapat tiga buah citra yang digunakan yang diambil tiap tahunnya dalam periode tahun 2014 hingga 2016. Selain itu, data titik panas pada tahun 2015 di lokasi yang sama juga dipakai untuk melihat sebaran titik panas yang terjadi di Riau. Atribut *dataset* titik panas dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2 Atribut *dataset* titik panas

No	Nama atribut	Keterangan
1	<i>Latitude</i>	Koordinat lintang lokasi titik panas (⁰)
2	<i>Longitude</i>	Koordinat bujur lokasi titik panas (⁰)
3	<i>Brightness Temperature</i>	Temperatur kanal-21 atau kanal-22 (K)
4	<i>Scan</i>	Ukuran lebar pixel citra satelit
5	<i>Track</i>	Ukuran panjang pixel citra satelit
6	<i>Acq_date</i>	Tanggal kejadian titik panas
8	<i>Satelite</i>	Waktu kejadian titik panas
9	<i>Confidance</i>	Kualitas titik panas (%)
10	<i>Version</i>	5.0 = MODIS NASA-LANCE 5.2 = MODIS MODAPS-FIRMS
11	<i>Bright_t31</i>	Temperatur untuk kanal-31 (K)
12	<i>Frp</i>	Kekuatan radiative api (Mega Watts)

Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan salah satu metode pengembangan sistem *agile* yaitu *Adaptive Software Development* (ASD). Sesuai dengan metode pengembangan ASD, pada pengembangan sistem ini memiliki tiga buah fase yaitu fase *speculation*, fase *collaboration*, dan fase *learning*. Fase *speculation* meliputi analisis fitur dan fungsi aplikasi berbasis web untuk melakukan estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran serta batasannya. Pada fase *collaboration*, sistem mulai dirancang dan dikembangkan sesuai dengan hasil analisa dari fase sebelumnya. Selanjutnya pengujian dan perbaikan terhadap sistem akan dilakukan pada fase *learning*. Proses ini akan dilakukan sebanyak beberapa iterasi hingga didapatkan sistem yang dapat memecahkan masalah estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran. Alur proses pengembangan sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tahapan pengembangan sistem estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran.

1. Fase *Speculation*

Analisis terhadap sistem yang akan dikembangkan dilakukan pada fase *speculation*. Analisis bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem guna memecahkan masalah estimasi deforestasi lahan gambut akibat kebakaran. Analisis ini dilakukan dengan cara berdiskusi dengan calon pengguna sistem. Setelah kebutuhan sistem teridentifikasi, selanjutnya menetapkan Batasan sistem yang akan dikembangkan. kemudian dilakukan proses estimasi jangka waktu pengerjaan sistem serta jumlah iterasi yang dikerjakan. Tahap berikutnya adalah menentukan tujuan tiap iterasi.

2. Fase *Collaboration*

Implementasi fitur yang sudah didiskusikan dengan pembimbing dilakukan pada tahap ini. Lalu setiap fitur dipecah kedalam bagian-bagian guna memudahkan proses pengembangan. Setiap fitur diperjelas kembali kedalam entitas, relasi dan atribut yang direpresentasikan dalam sebuah *class diagram*. *Class diagram* ini akan menjadi acuan dalam pengembangan sistem agar terarah dan memenuhi kebutuhan sistem.

3. Fase *Learning*

Pengujian dan perbaikan terhadap sistem dilakukan pada tahap ini. Pengujian dilakukan kesetiap fitur yang telah dikerjakan selama satu iterasi. Pengujian ini bertujuan untuk melihat bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem yang telah diidentifikasi. Pengujian dilakukan dengan metode *blackbox testing* yang melihat keluran sistem terhadap masukan tertentu.

Lingkungan Pengembangan (atau Peralatan Penelitian)

Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut”

1. Perangkat keras berupa computer dengan spesifikasi:4
 - Intel® Core™ i7-7850H CPU 2.90 Ghz
 - RAM 8 GB
 - *Solid State Disk* 250 GB
2. Perangkat lunak yang digunakan:
 - Sistem Operasi Windows 10 64-bit

JADWAL PENELITIAN

Penelitian ini akan dilaksanakan mulai bulan Januari sampai dengan bulan Juni tahun 2018. Jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Jadwal penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2018					
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
1	Kolokium	■					
2	Fase <i>Speculation</i> (iterasi satu)	■					
3	Fase <i>Collaboration</i> (iterasi satu)		■				
4	Fase <i>Learning</i> (iterasi satu)		■				
5	Fase <i>Speculation</i> (iterasi satu)			■			
6	Fase <i>Collaboration</i> (iterasi satu)			■			
7	Fase <i>Speculation</i> (iterasi satu)				■		
8	Penulisan draft seminar		■	■	■		
9	Seminar hasil				■		
10	Siding					■	
11	Revisi skripsi					■	
12	Penyelesaian surat keterangan lulus						■

DAFTAR PUSTAKA

Afandi SD. 2014. Pemanfaatan Citra Satelit Untuk Identifikasi Tingkat Perubahan Tutupan Lahan dengan Menggunakan Metode Fuzzy C-Means[skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Chakravarty S, Ghosh SK, Suresh CP, Dey AN, Shukla G. 2012. Deforestation: Cause, Effect, and Control Strategies. Di dalam Okia CA, editor. *Global Perspective on Sustainable Forest Management*. Rijeka (CU): InTech. hlm 3-28
- Chang W, Cheng J, Allaire JJ, Xie Y, McPherson J. 2015. Package ‘shiny’ [Internet]. [diunduh 2018 November 28]. Tersedia pada: <https://cran.r-project.org/web/packages/shiny/shiny.pdf>.
- [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2014. *Karhutla Riau Ini Pembakaran Bukan Kebakaran*. Jakarta (ID): Pusdalop BNPB
- Giri C, Weng Q. 2012. Remote Sensing of Land Use and Land Cover. *CRC Press*. hlm 11.
- Gonzales RC, Woods RE, Eddins SL. 2009. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Tennessee (US): Gatesmark Publishing.
- [INCAS] Indonesia Nasional Carbon Accounting System. 2015. Data Nasional Kehutanan [Internet]. [diunduh 2018 Nov 10]. Tersedia pada: <http://www.incas-indonesia.org/id/data/national-data>.
- Muslim TW, Yoza D, Oktorini Y. 2017. Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab dan Pencegahan Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kecamatan Kempas Kabupaten Indragilir Hilir. Di dalam: *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Vol. 4, No. 2, (2017) Riau (ID): Universitas Riau*.
- Noor YR, Heyde J. 2007, Pengelolaan Lahan Gambut Berbasis Masyarakat di Indonesia. *Wetlands international*. hlm 1.
- Pinem T. 2016. Kebijakan Hutan dan Lahan Gambut Kajian Teologi Ekofeminisme. *Gema Teologika*. 1(2)139-166.doi: 10.21460/gema.2016.12.219
- Pressman RS. 2010. *Software Engineering: A Practitioners Approach*, Seventh Edition. New York (US): McGraw-Hill.
- Septianingrum SR. 2018. Dampak Kebakaran Hutan di Indonesia Tahun 2015 dalam Kehidupan Masyarakat. Jogjakarta (ID): Universitas Gajah Mada.
- Sofiana DA. 2018. Esitmasi Deforestasi Lahan Gambut Akibat Kebakaran di Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau Menggunakan Pendekatan Spatial Data Mining[tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sumargo W, Nanggara SG, Nainggolan FA, Apriani I. 2011. *Potret Keadaan Hutan Indonesia, Periode Tahun 2000–2009*. Bogor (ID): Forest Watch Indonesia.
- [USGS] United State Geological Survey. 2018. Landsat 8 [Internet]. [diunduh 2018 Nov 18]. Tersedia pada: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>.
- Wibisono ITC, Siboro L. 2005. Panduan Rehabilitasi dan Teknik Silvikultur di Lahan Gambut. *Wetlands international*.